

---

## **Фізико-технічні проблеми транспорту та зберігання енергоносіїв**

---

УДК 622.692.24

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПОШКОДЖЕНИХ ДІЛЯНОК НАФТОПРОВОДУ ДОЛИНА-ДРОГОБИЧ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБОВУВАННЯ МОДЕЛЕЙ-«ВИРІЗОК»**

<sup>1</sup>В.М.Івасів, <sup>2</sup>В.М.Василюк, <sup>1</sup>В.І.Артим, <sup>1</sup>Р.В.Рачкевич, <sup>1</sup>В.Т.Болонний

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,  
тел. (03422) 42002, e-mail: [ndingt@nung.edu.ua](mailto:ndingt@nung.edu.ua)

<sup>2</sup>ВАТ «Укртранснафта», 04050, Україна, м. Київ, вул. Артема, 60,  
тел. (044) 2468007, факс (044) 2468377

*Рассмотрен метод определения экспериментальным путем параметров кинетических кривых усталости образцов с локальными дефектами, вырезанными непосредственно из потенциально опасного участка нефтепровода. Метод позволяет учитывать снижение границы усталости материала нефтепровода во время прогнозирования его долговечности при длительной эксплуатации.*

*The estimation method of fatigue kinetic curves parameters of samples with local defects by experimental way is considered. Samples are cut out directly of oil pipeline's potential accident parts. This gives the possibility to take into account the decreasing of pipeline material's fatigue strength while forecasting its durability by continuous service*

Україна володіє складною системою магістральних і розподільних трубопроводів, які використовуються для транспортування вуглеводневих енергоносіїв. Серед них і перший у нашій державі нафтопровід (НП) «Долина-Дрогобич» довжиною 58,4 км та діаметром 273 мм, споруджений у 1962 р [1] з метою транспортування нафти на Дрогобицький нафтопереробний завод у зв'язку із введенням у експлуатацію Північно-Долинського нафтового родовища. Внаслідок тривалого терміну експлуатації існує ризик відмови даного трубопроводу, особливо через корозійну втому металу. Так, лише через цю причину на магістральних трубопроводах Західного Сибіру відбулося близько 50% аварій від їх загальної кількості [2]. У ході діагностичного обстеження трубопроводів встановлено, що серед загальної кількості дефектів корозійних понад 70% [2].

Можливі аварії на магістральних трубопроводах призводять не лише до великих матеріальних збитків, але й небезпечні для навколишнього середовища та життя людей. Тому

невірний прогноз їх ресурсу як в запас, так і в менший бік, спричиняє значні матеріальні витрати та значно знижує ефективність використання обладнання.

Отже, прогнозування залишкового ресурсу магістральних трубопроводів (МТП) є актуальним науковим завданням, пріоритетним для нафтогазової галузі [3].

Найбільш повну і точну інформацію про довговічність та залишковий ресурс МТП можна одержати за результатами втомних натурних випробовувань із дотриманням схеми експлуатаційного навантажування. Але такі випробовування пов'язані з великими методичними і технологічними труднощами, потребують значних матеріальних витрат та часу.

Оскільки випробовування зразків металу матеріалу деталі дають тільки початкову інформацію, тому для прогнозування залишкового ресурсу НП пропонується проводити випробовування моделей малих розмірів з використанням критеріїв подібності. Як критерій подібності під час випробовування моделей зазвичай

використовують напруження. Стенди для випробовування моделей повинні повністю відповідати схемі навантажування реальної конструкції. Моделюючи сили і моменти визначають згідно з рівністю напружень моделі і натурної конструкції. Досвід випробовувань таких моделей свідчить про можливість надійної оцінки кількості циклів до точки нижнього перегину кривої втоми і параметра кута нахилу кривої втоми натурної конструкції. Але для визначення середніх значень і середньоквадратичних відхилень границі витривалості, що має вирішальне значення при оцінці несучої здатності та ресурсу, дана модель не прийнятна.

Для більш точної оцінки довговічності та залишкового ресурсу великогабаритних конструкцій пропонується використовувати метод локального моделювання. Основні вимоги до локальної моделі: 1) модель у вигляді «вирізки» із небезпечної зони чи вузла конструкції повинна повністю моделювати конструкцію і технологію виготовлення небезпечної зони; 2) схема навантажування і напружений стан моделі повинні повністю відповідати схемі і стану небезпечної зони.

Одними із найбільш небезпечних місць НП є локальні корозійні дефекти. Тому пропонується використовувати моделі з реальними корозійними та механічними пошкодженнями, одержаними в процесі експлуатації. Це дасть змогу більш точно оцінити залишковий ресурс деталі чи конструкції.

Оцінка залишкового ресурсу проводиться шляхом аналізу натурних кінетичних кривих пошкоджуваності небезпечних ділянок конструкції за рахунок експериментальних досліджень моделей-«вирізків» [4]. Для побудови кінетичних кривих використовують рівняння [5]

$$N = \frac{N_0 \sigma_{rR}}{\sigma} \ln \left[ 1 + \frac{1}{\exp\left(\frac{\sigma - \sigma_{rR}}{V_0}\right) - 1} \right]; \quad (1)$$

де:  $N$  – кількість циклів до руйнування деталі;

$\sigma_{rR}$  – границя витривалості;

$\sigma$  – максимальне напруження циклу регулярного навантаження з постійним значенням коефіцієнта асиметрії;

$V_0$  – параметр з розмірністю напруження;

$N_0$  – параметр, який характеризує число циклів до точки нижнього перегину кривої втоми.

Для вирішення цього завдання розроблено вдосконалену методику прогнозування залишкового ресурсу з допомогою кінетичних кривих втоми моделей-«вирізків» [6, 7]. Особливістю процесу визначення залишкового ресурсу пошкоджених ділянок НП з локальними корозійними чи механічними пошкодженнями є те, що провівши достатній об'єм досліджень з їх аналізу та за допомогою засобів комп'ютерного моделювання визначають емпіричні залежності

параметрів кінетичних кривих втоми моделей-«вирізків» від ступеня втомного пошкодження ділянки НП та геометричних параметрів локального дефекту.

Наприклад, на рис. 1 зображено порівняльні результати дослідження НДС моделей-«вирізків» без дефектів (а) і з локальним корозійним дефектом (б) за допомогою засобів комп'ютерної інженерної системи Ansys.

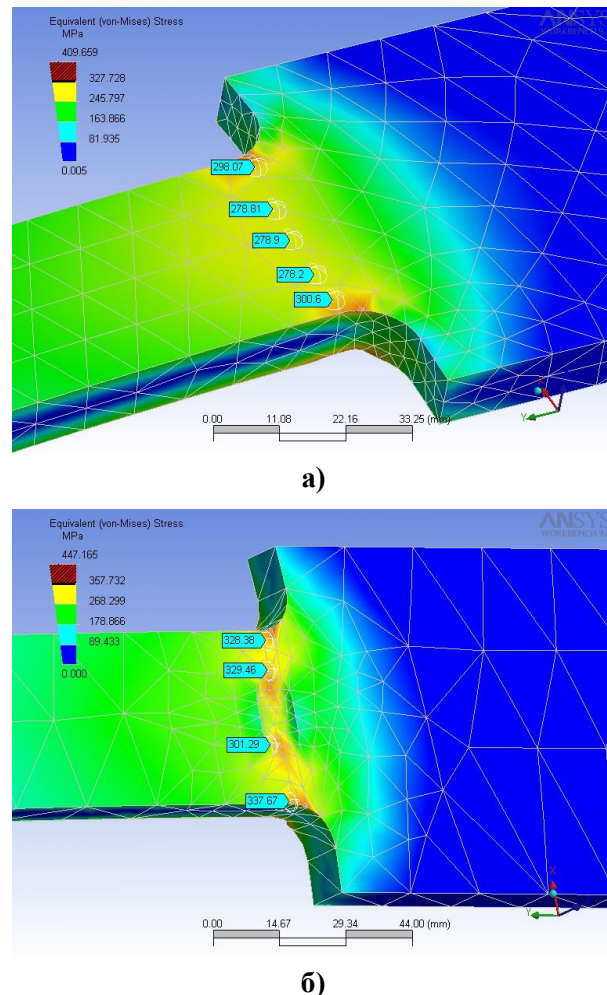


Рисунок 1 – Розрахунок НДС моделі-«вирізки» за допомогою ANSYS

За даними експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання оцінюють ступінь небезпеки кожного конкретного дефекту та виділяють найбільш небезпечні.

Після цього з допомогою встановлених рівнянь визначають гама-процентний залишковий ресурс та на його основі роблять висновки про можливість подальшої експлуатації ділянки НП і визначають термін наступного діагностування. Перевагою такого методу є визначення гама-процентного залишкового ресурсу ділянки із комплексним урахуванням локального та загального корозійно-втомного пошкодження.

Для апробації запропонованої методики нами проведено такий експеримент. На вирізній під час ремонту ділянки трубопроводу (матеріал – Сталь 20) було позначено найбільш небезпечні локальні корозійні дефекти (рис. 2).



Рисунок 2 – Ділянка нафтопроводу із локальними корозійними дефектами

За окресленими контурами (див. рис. 2) вирізали три експериментальні моделі-“вирізки”, одна із яких зображена на рис. 3.



Рисунок 3 – Експериментальна модель-“вирізка” із локальним корозійним дефектом

Моделі-“вирізки” було досліджено на втому за допомогою випробувального стенду (див. рис. 4). Розроблена конструкція стенду дає змогу проводити випробовування моделей-“вирізок” у широкому діапазоні геометричних параметрів жорстким навантаженням на консольний згин із регулюванням амплітуди деформації в межах 0..10 мм.

Використання спеціальної силової головки дає можливість змінювати коефіцієнт асиметрії циклу  $R$  у межах  $-1 \leq R < 1$ .

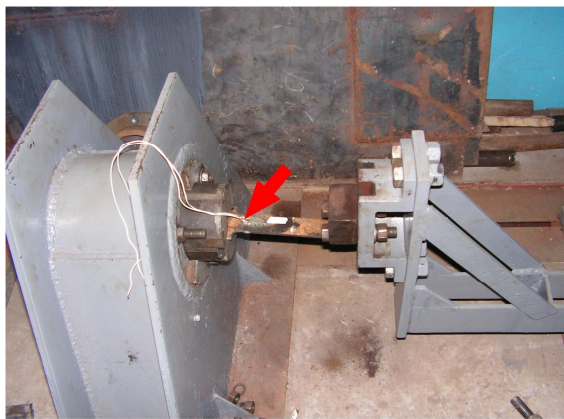


Рисунок 4 – Загальний вигляд випробувального стенду

У результаті проведення експерименту отримано величини напружень та відповідної довговічності (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Результати експерименту

Порядковий номер експериментального зразка	Напруження у поперечному перерізі $\sigma$ , МПа	Довговічність $N$ , цикли
1	79,8	417000
2	83,3	268000
3	100,1	183000

Використовуючи величини із таблиці 1 та параметри кривої втоми для моделей-“вирізок”, вирізаних із нових труб підводного газопроводу діаметром 720 і 820 мм у зоні зварного шва [8] ( $V_0 = 19,7$  МПа;  $N_0 = 2086600$  цикли;  $\sigma_{rR} = 69,4$  МПа), за допомогою системи «Waterloo Maple» було визначено границі витривалості моделей-“вирізок”, що відповідала кожному експерименту:  $\sigma_{rR1} = 60$  МПа;  $\sigma_{rR2} = 50$  МПа;  $\sigma_{rR3} = 53$  МПа. Середня границя витривалості для моделей-“вирізок” із корозією становить 54,3 МПа.

Криві втоми для нових (1) та пошкоджених (2) моделей-“вирізок” зображені на рисунку 5.

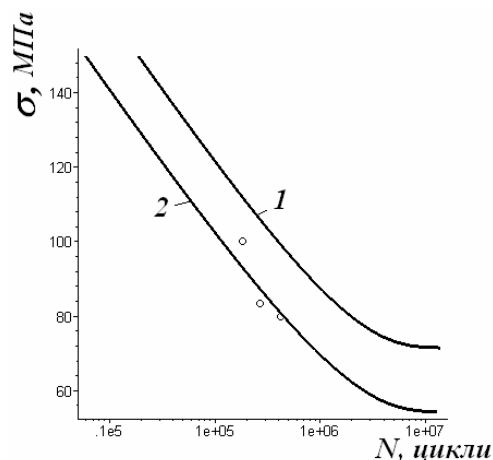


Рисунок 5 – Результати дослідження довговічності моделей-“вирізок” МТП (сталь 20)

Результати експерименту дають можливість зробити висновок про доцільність подальшого використання методу локального моделювання для визначення параметрів кінетичних кривих втоми ділянки трубопроводу зі значним терміном експлуатації та локальними корозійними дефектами. Це дасть змогу оцінити залишковий ресурс ділянки МТП за прогнозними параметрами його навантаженості.

Таким чином, даним дослідження є важливим етапом вирішення актуального завдання з підвищення надійності роботи МТП, особливо з критичним терміном експлуатації, де проблема оцінки залишкового ресурсу є першочерговою.



### Література

- 1 Середюк М.Д., Якимів Й.В., Лісафін В.П. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів: Підручник. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 517 с.: іл.
- 2 Мороз А.А. Оценка технического состояния и остаточного ресурса нефтепроводов по результатам диагностики: Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Уфа, 2003. – 44 с.
- 3 Василюк В.М. Підвищення надійності роботи магістральних нафтопроводів ВАТ “Укртранснафта” // Вісник НГСУ. – 2004. – №4. – С. 11-14.
- 4 Івасів В.М., Говдяк Р.М., Івченко О.Г., Лопушанський А.Я., Кравець О.А., Дрогомирецький М.М., Василюк В.М., Ільницький Р.М., Артим В.І. Процес визначення залишкового ресурсу нафтогазопроводів та збільшення нормативного терміну їх експлуатації. – Патент України на корисну модель №18066. – Опубл. 16.10.06. – Бюл. № 10.
- 5 Почтенный Е.К. Кинетика усталости машиностроительных конструкций. – Минск: УП “Арти – Фекс”, 2002. – 186 с.
- 6 Івасів В., Артим В., Смоляк Т., Козак О., Нікітюк В. Методика оцінки втомної довговічності та залишкового ресурсу великогабаритних деталей з допомогою локальних моделей // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2005. – № 1. – С. 19-24.
- 7 Івасів В.М., Артим В.І., Смоляк Т.І., Нікітюк В.М. Прогнозування залишкового ресурсу магістральних газопроводів з допомогою моделей-“вирізків” // Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта: Сборник докладов научно-практического семинара. – Киев: Экотехнология, 2005. – С. 7-8.
- 8 Крижанівський Є.І., Івасів В.М., Чернов Б.О., Ільницький М.К. Вибір і дослідження моделей підводних трубопроводів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 1999. – № 36 (Том 4). – С. 109-114.

УДК 622.692.4

## РОЗРАХУНОК ТРИВАЛОСТІ ПРОЦЕСУ ВИПОРОЖНЕННЯ ДІЛЯНКИ ГАЗОПРОВОДУ З ПЕРЕСІЧЕНИМ ПРОФІЛЕМ ТРАСИ

Ю. Г. Мельниченко

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15,  
*informatik@nung.edu.ua*

*Приведены методы расчета длительности процесса и потерь газа при опорожнении участка магистрального газопровода с пересеченным профилем трассы. Предложен метод сокращения длительности процесса опорожнения участка газопровода с пересеченным профилем трассы.*

*The method of calculation of gas pipeline section emptying time, dependent on the pipeline section profile is represented. The method of calculation of natural gas losses during pipeline section emptying is represented. The method of the emptying time reduction for the pipeline section with hard cross profile is proposed.*

Впродовж періоду експлуатації магістральних газопроводів трапляються випадки порушення герметичності її лінійної частини. Умовно такі ситуації можна поділити на дві групи: аварійні та планові. До аварійних можна віднести свищі, витоки або повні розриви лінійної частини. До планових заходів, пов'язаних з розгерметизацією лінійної частини, можна віднести повне або часткове випорожнення ділянки газопроводу для виконання на них ремонтних робіт, продування ділянки газопроводу у випадку заповнення останньої газом та інші [1].

У випадку будь-якого витоку на газопроводі важливо вміти розв'язати такі задачі: визначення часу випорожнення до заданої міри ділянки газопроводу; визначення кількості втраченого газу внаслідок його вільного витоку в атмосферу; визначення кількості газу в випорожнювальній ділянці в будь-який момент часу. Оскільки масова витрата, з якою відбувається випорожнення ділянки, є величина, залежна

від тиску (тобто змінна в часі), то для вирішення поставлених задач при виведенні математичних залежностей для параметрів газового потоку необхідно розглядати нестационарний рух газу.

В даному напрямку проведено певні дослідження [2,3], однак у згаданих працях модель газового потоку не враховує гравітаційної складової масових сил, що діють на контрольний об'єм газу. Частина газопроводів української газотранспортної системи прокладена в гірській місцевості. Перепади геодезичних позначок осі газопроводу в деяких точках перевищують 100 м, тому є зміст включати гравітаційну складову в систему рівнянь руху газу [4].

Запишемо рівняння динаміки газу, які відображають закон збереження маси, кількості руху та енергії для контрольного об'єму газу в одномірному нестационарному газовому потоці [6].